#### SEMICONDUCTOR LIGHT EMISSION ELEMENT AND FABRICATION THEREOF

Patent number:

JP8255932

**Publication date:** 

1996-10-01

Inventor:

KAMIYAMA SATOSHI; SUZUKI MASAKATSU; UENOYAMA TAKESHI; ONAKA SEIJI; TAKAMORI AKIRA; MANNOU MASAYA; KIDOGUCHI ISAO; ADACHI HIDETO; ISHIBASHI AKIHIKO; FUKUHISA

TOSHIYA; KUMABUCHI YASUHITO

Applicant:

MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

Classification:

- international:

H01L21/205; H01L21/3065; H01L33/00; H01L21/02;

H01L33/00; (IPC1-7): H01L33/00; H01L21/205;

H01L21/3065; H01S3/18

- european:

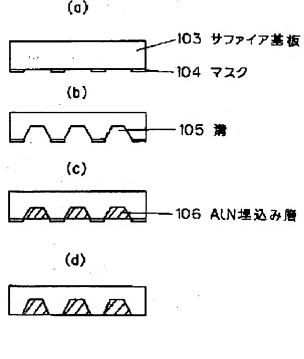
Application number: JP19960007048 19960119

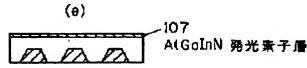
Priority number(s): JP19960007048 19960119; JP19950006405 19950119

Report a data error here

#### Abstract of JP8255932

PURPOSE: To obtain a semiconductor laser having low threshold current value by imparting strain anisotropically into a specified axial plane of an active layer of a hexagonal compound semiconductor. CONSTITUTION: The semiconductor element employs a III-V compound semiconductor, i.e., an AlGalnN based material, as a hexagonal compound semiconductor. Strain is introduced in parallel with the face (c). In other words a mask 104 is formed in stripe, on one major surface of a sapphire substrate 103. A groove 105 is then made, in stripe, using the mask 104 and an etching liquid of hot sulfuric acid, for example. Furthermore, a layer 106 filled with AIN is grown selectively only in the groove 105 using a material of AIN, for example, and the mask 104. Consequently, coefficient of thermal expansion is distributed in the thickness direction and a uniaxial strain can be generated in the substrate when crystal growth of AlGaInN emission layer is effected at high temperature of 1000 deg.C or above.





Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

# I HIS PAGE BLANK (USPTO)

(11) 特許出願公開番号

## 特開平8-255932

(43) 公開日 平成8年(1996) 10月1日

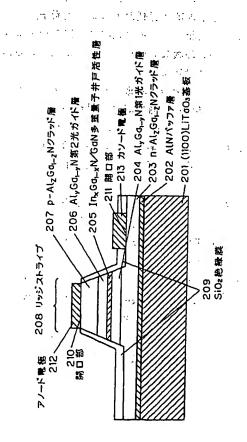
(51) Int. Cl. 6	識別記号	FI
H01L 33/00-		H01L 33/00 C
21/205		21/205
21/3065		H01S 3/18
H01S 3/18		H01L 21/302
(21) 出願番号	特願平8-7048	(71) 出願人 000005821 松下電器産業株式会社
22) 出願日	平成8年(1996)1月19日	大阪府門真市大字門真1006番地 (72)発明者 上山 智
31) 優先権主張番号	特願平7-6405	大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
32) 優先日	平7 (1995) 1月19日	産業株式会社内
33) 優先権主張国	日本(JP)	(72) 発明者 鈴木 政勝
.*	e Signal (1997) die sego	大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
7. 1. 7.		(72) 発明者 上野山 雄 (72) 発明者 (72) (72) (72) (72)
	Commence of the Allender	大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
r e e e e e e e e e e e e e e e e e e e	The state of the s	。

## (54) 【発明の名称】半導体発光素子およびその製造方法

#### (57) 【要約】

【課題】 しきい値電流の小さい半導体レーザを提供する。

【解決手段】 LiTaO,基板201上にAIN層2 02、n-AI,Ga<sub>1-1</sub>,N層203、AI,Ga<sub>1-1</sub>,N 第1光ガイド層204、ln, G a, ., N/G a N多重量 子井戸活性層205、AI,Ga1-,N 第2光ガイド層 206、p-AI, Ga, , Nクラッド層207を連続的 に形成する。エッチングによりリッジストライプ208 を形成し、SiO,絶縁膜209を堆積した後、電流注 入のためにSiO,絶縁膜209に開口部210および 211を形成する。最後にアノード電極212およびカ ソード電極213を形成する。このウルツ鉱型 In Ga N/AIGaN量子井戸半導体レーザを構成する層構造 は組成、材料により成長温度が異なる場合が多いが、8 00~1100℃の範囲で作製される。したがって成長 終了後に室温に戻された結晶には基板との熱膨張係数差 によって歪が発生する。この歪により、半導体レーザの しきい値電流が小さくなる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 c 軸方向に成長させた活性層を有し、 前記活性層が六方晶化合物半導体であり、

かつ、前記活性層の c 面内に、等方的でない歪が入って いる半導体発光素子。

1

【請求項2】六方晶化合物半導体である活性層を c 軸方 向に成長させる工程を有し、前記活性層は前記 c 面内に 等方的でない歪が入るよう成長されている半導体発光素 子の製造方法。

【請求項3】前記六方晶化合物半導体がウルツ型構造で 10 ある請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項4】前記六方晶化合物半導体が4H型構造であ る請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項5】前記六方晶化合物半導体が6H型構造であ る請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記等方的でない歪が1軸性歪である請求 項1に記載の半導体発光素子。

【請求項7】前記等方的でない歪がせん断歪である請求 項1 に記載の半導体発光素子。

【請求項8】半導体基板と、

該半導体基板の一主面に形成されたストライプ状の溝

該半導体基板の他の主面に形成された半導体発光素子層 とを、有する半導体発光素子。

【請求項9】前記半導体基板はサファイアから形成され

前記半導体発光素子層がウルツ鉱型のAI、Ga、In、 N (但し、 $0 \le x \le 1$ 、 $0 \le y \le 1$ 、 $0 \le z \le 1$ ) から 形成されている請求項8記載の半導体発光素子。

【請求項10】前記ストライプ状の溝中に前記半導体基 板とは熱膨張係数の異なる材料が埋め込まれている請求 項8記載の半導体発光素子。

【請求項11】前記半導体基板がサファイアから形成さ れており、前記熱膨張係数の異なる材料がAI,Ga,I n, N (但し、0≦x≦1、0≦y≦1、0≦z≦1) から形成されている請求項10記載の半導体発光素子。

【請求項12】半導体基板の一主面にストライプ状の溝 を形成する工程と、

前記半導体基板の他の主面に発光素子構造を成長する工 程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項13】半導体基板の一主面にストライプ状のマ スクを形成する工程と、

該マスクを用い、選択的にエッチングを行う工程と、

該マスクを用い該半導体基板の材料と熱膨張係数の異な る材料を選択的に堆積する工程と、

該半導体基板の他の主面に発光素子構造を成長する工程 と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項14】半導体基板と、

該半導体基板の一主面に形成されたストライプ状部材で あって、該半導体基板とは熱膨張係数の異なる材料から 50 れている請求項23に記載の半導体発光素子。

形成された部材と、

該半導体基板の他の主面に形成された半導体発光素子層 と、を備えた半導体発光素子。

【請求項15】半導体基板の一主面に、該半導体基板と は熱膨張係数の異なる材料からなるストライプ状部材を 形成する工程と、

該半導体基板の他の主面上に発光素子構造を成長する工 程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項16】半導体基板の一方の面に発光素子構造を 成長する工程と、

300℃以上の温度にて、該該半導体基板とは熱膨張係 数の異なる材料からなるストライプ状部材を該半導体基 板の他方の面に形成する工程と、

を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項17】半導体基板の一主面に発光素子構造を成 長する工程と、

ストライプ状に該半導体基板とは熱膨張係数の異なる材 料からなるストライプ状部材を該半導体基板の他方の面 に形成する工程と、

20 該半導体基板を500℃以上の温度で熱処理する工程 と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項18】半導体基板と、

30

該半導体基板の一主面に形成された第一の金属と、 該第一の金属上に形成されたストライプ状の第二の金属

該半導体基板上に形成された発光素子構造と、を備えた 半導体発光素子。

【請求項19】前記第一及び第二の金属の上に形成され た第三の金属を更に備えている請求項17に記載の半導 体発光素子。

【請求項20】前記半導体基板がSiCから形成されて おり、前記第一の金属がNiから形成されている請求項 18に記載の半導体発光素子。

【請求項21】半導体基板の一主面に発光素子構造を成 長する工程と、

該半導体基板の他の主面に第一の金属を堆積する工程 ٤.

該第一の金属上にストライプ状の第二の金属を堆積する 工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項22】表面の形状が円柱表面の曲面の一部であ 40 る物体上に半導体基板を密着させる工程と、

該半導体基板上に発光素子構造を成長する工程と、を包 含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項23】主面を有する基板と、

該基板上に形成されたウルツ鉱型AIGalnN系化合 物半導体とを備えており、

該基板は、その熱膨張係数が該主面内で異方性を持つ材 料から形成されている半導体発光素子。

【請求項24】前記基板が、非線形光学結晶から形成さ

【請求項25】前記基板は、LiTa〇, (1100) 面基板である請求項23に記載の半導体発光素子。

【請求項26】前記基板は、LiTaO; (1´120) 面基板である請求項23に記載の半導体発光索子。

【請求項27】主面を有する基板と、該基板上に形成さ れたウルツ鉱型AIGaInN系化合物半導体とを備え ており、

該基板は、該主面内の第1の方向の熱膨張係数が前記ウ ルツ鉱型AIGaInN系化合物半導体の熱膨張係数よ りも大きく、該第1の方向に直行する第2の方向の熱膨 10 張係数が、該ウルツ鉱型AIGalnN系化合物半導体 の熱包丁係数よりも小さい材料から形成されている半導 体発光素子。

【請求項28】基板は、LiTaO,の(1100) 面 から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求 項27に記載の半導体発光素子。

【請求項29】基板は、LiTaO₁の(1 1 2 0) 面 から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求 項27に記載の半導体発光素子。

【請求項30】成長温度から室温に冷却したときに発生 20 する熱歪が基板面内のある方向と、それと直行する方向 との合計が響となるウルツ鉱型AIGaInN系化合物 半導体から形成された半導体発光素子。

【請求項31】基板は、LiTaO;の (1100) 面 から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求 項30に記載の半導体発光素子。

【請求項32】基板は、LiTaO,の(1120) 面 から(0001)方向に傾斜した方位の基板である請求 項30に記載の半導体発光素子。

【請求項33】ウルツ鉱型化合物半導体から形成された 30 活性層と、

該活性層を挟む一対のキャリア閉じ込め層と、

該一対のキャリア閉じ込め層の格子定数と異なる格子定 数を持つストライプ状の歪導入層と、を備えた半導体発 光素子。

【請求項34】ウルツ鉱型AIGaInN系化合物半導 体から成る請求項33に記載の半導体発光素子。

【請求項35】ダブルヘテロ構造を有する半導体発光素 子を異方性結晶上に配置する工程と、

100℃以上で該半導体発光素子を該異方性結晶上に固 40 定する工程と、を包含する半導体発光素子の製造方法。

【請求項36】異方性結晶が強誘電体から形成されてい るる請求項35に記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項37】前記異方性結晶が六方晶から形成されて おり、前記半導体発光素子を(0001)面に垂直な面 上に装荷する請求項35に記載の半導体発光素子の製造 方法。

【請求項38】前記半導体発光素子の材料はウルツ鉱型 のAI,Ga,In,N (但し、0≦x≦1、0≦y≦ 1、0≦z≦1)であり、前記異方性結晶がLiTaO 50 前記成長温度よりも高い温度で窒化物系化合物半導体を

」またはLiNbO」から形成されている請求項35に記 載の半導体発光素子の製造方法。 -

【請求項39】ダブルヘテロ構造を有する半導体発光素 子をバイメタル上に配置する工程と、

100℃以上で該半導体発光素子を該バイメタル上に固 定すること工程と、を包含する半導体発光素子の製造方

【請求項40】半導体発光素子の材料がウルツ鉱型のA I,Ga,In,N (但し、0≦x≦1、0≦y≦1、0 ≦z≦1)であり、バイメタルがFe-Ni合金とMn - Cu-Ni合金、またはFe-Ni合金とFe-Ni - M n 合金から構成される請求項39に記載の半導体発 光索子の製造方法。

【請求項41】ダブルヘテロ構造を有する半導体発光素 子をサブマウント上に配置する工程と、

該半導体発光素子に上面、または側面から応力を加える 工程と、

該半導体発光素子と該サブマウントとを固定する工程と を有することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項42】半導体発光素子とサブマウントの固定に 樹脂を硬化させる工程を有することを特徴とする請求項 41に記載の半導体発光素子の製造方法。萬濃

【請求項43】段差を施した基板上にAIGalnN系 ダブルヘテロ構造を形成してなる半導体発光素子の製造 方法であって、

A | G a | n N薄膜上に少なくとも2つのストライプ溝 を設けることによりメサ構造を形成する工程と、

前記2つのストライプ溝を含め全表面にAIGalnN‐ 系ダブルヘテロ構造を含む多層薄膜を形成し、かつ前記 メサ構造の平坦面上と傾斜面上のAIGalnN混晶組 成を異なるものとする工程と、を含むことを特徴とする AIGaInN系半導体発光素子の製造方法。

【請求項44】段差を施した基板上にAIGalnN系 ダブルヘテロ構造を形成してなる半導体発光素子の製造 方法であって、

AIGaInN薄膜上にストライプ溝を設けることによ り凹溝構造を形成する工程と、

前記ストライプ溝を含め全表面にAIGalnN系ダブ ルヘテロ構造を含む多層薄膜を形成し、かつ前記凹溝構 造の平坦面上と傾斜面上のAIGaInN混晶組成を異 なるものとする工程と、を含むことを特徴とするAIG alnN系半導体発光素子の製造方法。

【請求項45】基板上に、窒化物化合物半導体に選択的 にレーザ光線を照射しながら気相成長させ、照射部と非 照射部との格子定数を異ならせる工程を有することを特 徴とする窒化物系化合物半導体の製造方法。

【請求項46】選択的にレーザ光線を照射しながら窒化 物系化合物半導体を気相させ、照射部と非照射部との格 子定数を異ならせる工程と、

30

5

気相成長する工程と、を含むことを特徴とする窒化物系 化合物半導体の製造方法。

【請求項47】基板と、

半導体発光素子。

前記基板上に積層し、前記基板に平行な面の面積が前記 基板より小さい第一クラッド層と、

前記第一クラッド層上に積層し、前記基板に平行な面の 面積が前記第一クラッド層より大きく、前記第一クラッ ド層と格子定数の異なる結晶により構成される第二クラッド層と、

前記第二クラッド層上に積層した活性層と、 前記活性層上に積層した第三クラッド層と、を有する、

【請求項48】基板上に第一クラッド層を積層する工程と、

前記第一クラッド層上に第二クラッド層を積層する工程 レ

前記第二クラッド層上に活性層を積層する工程と、 前記活性層上に第三クラッド層を積層する工程と、 前記第一クラッド層が、前記基板、前記第二クラッド 層、前記活性層、および前記第三クラッド層より高い速 20 度でエッチングされる条件下でエッチングを行う工程 と、を有することを特徴とした半導体発光素子の製造方 法。

【請求項49】基板上に第一クラッド層を積層する工程と、

前記第一クラッド層上に第二クラッド層を積層する工程 と

前記第二クラッド層上に活性層を積層する工程と、 前記活性層上に第三クラッド層を積層する工程と、 前記基板、前記第一クラッド層、前記第二クラッド層、 前記活性層、および前記第三クラッド層の積層方向に垂 直な面に絶縁膜を積層する工程と、

前記絶縁膜の一部を除去し、前記第一クラッド層側面が 露出する領域を設ける工程と、

前記第一クラッド層が前記絶縁膜より高い速度でエッチングされる条件でエッチングを行う工程と、を有する半 導体発光素子の製造方法。

【請求項50】基板上に第一伝導型半導体を積層する工程と、

前記第一伝導型半導体上に前記第一伝導型半導体と格子 40 タキシャル成長方法。 定数の異なる絶縁型半導体を積層する工程と、 【請求項57】前記3

前記絶縁型半導体上に、ダブルヘテロ構造の半導体層を 積層する工程と、

前記基板および前記第一伝導型半導体および前記絶縁型 半導体を電解液に浸漬し、前記第一伝導型半導体または 前記絶縁型半導体に正電極および負電極を付着して、前 記電極間に電圧を印加し、前記第一伝導型半導体をエッ チングする工程と、を有する半導体発光素子の製造方 法。

【請求項51】基板と、前記基板上に析出した半導体の 50

成長核と、

前記成長核を中心として前記基板面に平行に螺旋状に成 長した薄膜層と、

前記薄膜層上に積層した第一クラッド層と、

前記第一クラッド層上に積層した活性層と、

前記活性層上に積層した第二クラッド層と、を有する半導体発光素子。

【請求項52】基板上に、気相成長法により第一の圧力 条件で半導体の成長核を形成する工程と、

10 第二の圧力条件で前記成長核を中心として前記基板面に 平行に螺旋状に薄膜を形成する工程と、

第三の圧力条件で第一クラッド層を成長する工程と、 第三の圧力条件で前記第一クラッド層上に活性層を積層 する工程と、

第三の圧力条件で前記活性層上に第二クラッド層を積層 する工程と、を有する半導体発光素子の製造方法。

【請求項53】凹部を有する基体と、前記凹部に設置した半導体発光素子とを有し、

前記半導体発光素子の活性層は、六方晶化合物半導体からなり、

前記活性層の c 面内には、前記基体からの応力により等 方的でない歪が導入されている、半導体発光装置。

【請求項54】半導体発光素子と、

前記半導体発光素子の活性層に応力を印加するための応 カ印加部とを有し、

前記半導体発光素子の活性層は、六方晶化合物半導体からなり、

前記活性層の c 面内には、前記応力印加部により等方的でない歪が導入されている、半導体発光装置。

【請求項55】基板上に格子不整合系の結晶をエピタキシャル成長する方法において、前記基板結晶とエピタキシャル成長層との格子不整合により、前記エピタキシャル成長層に発生する格子歪みを、前記エピタキシャル成長層の特定の方位に集中させ、前記エピタキシャル成長層に等方的でない歪を生じさせる、エピタキシャル成長方法。

【請求項56】基板表面上の特定の部分に、前記基板上に成長するエピタキシャル成長層と同じ組成のアモルファス層をあらかじめ積層する、請求項55に記載のエピタキシャル成長方法。

【請求項57】前記エピタキシャル成長層と、前記アモルファス層とが異なった組成である、請求項56に記載のエピタキシャル成長方法。

【請求項58】アモルファス層の代わりに、 $SiO_0$ 膜または $SiN_0$ 膜を用いる、請求項56または57に記載のエピタキシャル成長方法。

【請求項59】基板表面上の特定の部分が、ストライプ 形状で基板の特定方位に沿っている、請求項55に記載 のエピタキシャル成長方法。

【発明の詳細な説明】

U

#### [0001]

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信、光情報処理分野などに用いられる短波長の半導体発光素子及びその製造方法に関するる。

#### [0002]

【従来の技術】近年、多くの分野で短波長半導体発光素子の需要が高まり、ZnSe系、及びGaN系材料を中心として精力的に研究が進められている。ZnSe系材料では、発振波長500nm前後の短波長半導体レーザの室温連続発振が達成され、実用化に向けての研究開発 10が続けられている。一方、GaN系材料でも、最近、高輝度な青色発光ダイオードが実現された。発光ダイオードとしての信頼性も、他の半導体発光素子材料と比較しても遜色なく、半導体レーザへの応用も十分可能であると思われる。

#### [0003]

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、GaN 系材料はその物性があまり明らかにされておらず、結晶 構造が六方晶系であるため、従来の立方晶系材料と同様 な素子構造で十分実用に耐えられる特性が得られるかど 20 うかはわからない。

【0004】本発明は以上のような問題点を鑑みてなされたものであり、六方晶化合物半導体の独特の電子帯構造の特徴を用いて高性能な半導体発光素子を提供することを目的とする。

#### [0005]

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明の半導体レーザは、六方晶化合物半導体固有の電子帯構造の歪特性を用いて、構成の単純な高性能半導体レーザを実現するものである。具体的には、六方 30 晶化合物半導体のc面内に等方的でない(異方的な)歪を加えることにより、しきい値電流の低い半導体発光素子を実現するものである。

【0006】我々は、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない(異方的な)歪を加えた場合、価電子帯上端付近のホールの有効質量が小さくなるということを見い出した。この性質を利用して、c軸方向に成長させた六方晶化合物半導体から構成されている活性層のc面内に等方的でない(異方的な)歪を入れることにより、しきい値電流が低い半導体発光素子が実現できる。ここで等40方的とはc面内で静水圧的(等方的)にかかる歪をいう。

#### [0007]

【発明の実施の形態】以下に、本発明で利用している六方晶化合物半導体の価電子帯の電子帯構造の歪特性について、図面を参照しながら説明する。

【0008】図1は、歪が加わっていない場合のAIGしている。aN/GaN量子井戸構造について、GaN量子井戸層【0013】また、図3でしていないが、c面内にせんの価電子帯の電子帯構造を示している。この量子井戸構造は、AIGaN障壁層と、GaN量子井戸層とからな50でも同様な効果が見られる。

る。量子井戸層の厚みは約4 n mである。図1において、曲線 a は重い正孔の第1準位のエネルギバンドを表現し、曲線 b は重い正孔の第2準位のエネルギバンドを表現している。曲線 c は軽い正孔の第1準位のエネルギバンドを表現し、曲線 d は軽い正孔の第2準位のエネルギバンドを表現している。

【0009】図1は、価電子帯上端付近(波数0の近傍)におけるホールの有効質量は、Zincblende型化合物半導体と比べてかなり大きいことを示している。また、GaN量子井戸層にc軸方向の一軸性歪、あるいはc面内の等方的な(二軸性)歪が加わった場合、価電子帯上端付近のホールの有効質量は無歪の場合とほとんど変わらない。c軸方向の一軸性歪とは、六方晶化合物半導体のc軸方向にのみ歪がある場合をいい、c面内の二軸性歪とは、互いに垂直な軸にそれぞれ等しい大きさの歪がある場合であり、この場合も等方的な歪である。

【0010】ところで、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない(異方的な)歪が加わった場合の変形ポテンシャルをD5、c面内の直交する2つの方向の歪をeハ、及びe,,、c面内のせん断歪をexyとすると、c面内に等方的でない(異方的な)歪が加わったことによる変形エネルギーはD5(e,,ーe,,+2ie,,)の形で記述できる。

【0011】図2は、c面内に変形エネルギーが10meVとなる等方的でない(異方的な)歪が加わった場合のAIGaN/GaN量子井戸構造におけるGaN量子井戸層の価電子帯の電子帯構造を示している。図2から明らかなように、等方的でない歪を加えることにより、波数の小さい領域における「価電子帯の曲率」が小さくなっている。このため、価電子帯上端付近のホールの有効質量は無歪の場合と比較してかなり小さくなっていることがわかる。これは価電子帯上端付近の状態密度がある。これは価電子帯上端付近の状態密度がある。これは価電子帯上端付近の状態密度がある。これは価電子帯上端付近の状態密度がある。これは価電子帯上端付近の状態密度がある。これは価電子帯上端付近の状態密度がある。とがわかる。したがって、このように量子井戸層に等方的でない歪を加えた活性層を用いた半導体レーザでは、発振しきい値電流が小さくなることがわかる。

【0012】また、図3は、c面内に等方的でない(異方的な)歪が加わった場合のしきい値電流密度の歪依存性を示している。横軸は変形エネルギー、縦軸は無歪の場合の値で規格化したしきい値電流密度を表わしている。図にはしきい値利得を変化させた場合の結果をまとめて示してある。図3から明らかなように、しきい値利得の値がどのような場合でも等方的でない(異方的な)歪を加えることにより、しきい値電流密度がかなり減少している。

【0013】また、図3では、c面内のせん段歪を考慮していないが、c面内にせん段歪が加わった場合についても同様な効果が見られる。

【0014】以上図1~図3で説明したように、六方晶 化合物半導体を活性層に用いた半導体発光素子におい て、等方的でない歪を活性層に用いることでしきい値電 流の小さい素子が実現できることがわかる。

【0015】以下、具体的に六方晶化合物半導体に等方 的でない歪を導入した素子、およびその製造方法につい て述べていく。

【0016】(実施例1)本発明の一実施例の半導体発 光素子の構造を示す。六方晶化合物半導体としては、Ⅰ II-V族化合物半導体である、AIGaInN系の材 10 料を用いている。歪は、c面に平行方向導入している。 AIGaInN発光素子層100にウルツ鉱型を用いる た場合、その(0001)軸に垂直な方向(c面内に平 行) に一軸性の歪みを加えるとバンド構造(価電子帯) を変化させることが可能となる。その結果、発光素子の 特性が向上することは前述した。

【0017】図4のように、サファイア基板101にス トライプ状の溝102を形成するとその基板に熱膨張係 数の方向性が表れ、その後、ストライプ溝102が形成 されていない、他方の面に成長されたAIGalnN発 20 光層100には図中の×方向に一軸性の歪みを加えるこ とが可能となる。この発光層100を活性層とすること でしきい値電流の小さい半導体発光素子を実現できる。

【0018】具体的な製造方法を図5に示す。はじめに サファイア基板103の一主面にストライプ状のマスク 104を形成する。その後、マスク104を用い、熱硫 酸などのエッチング液を用いてストライプ状の溝105 を形成する。さらに、たとえばAINなどの材料をマス ク104を用いて選択成長すると溝105の中だけにA IN埋め込み層106が形成される。その結果、厚さ方 30 向に熱膨張係数の分布が生じ、続いてAIGalnN発 光層107の結晶成長を1000℃以上の高温で行う場 合に基板に一軸性の歪みを生じることができる。結晶成 長には有機金属気相成長法が用いられるがAIGaln Nでは1100℃程度がよいとされている。すると、温 度を室温に戻したときにAIGalnN発光層107に 一軸性の歪みが加わった状態とすることができる。

【0019】ここで、AIN埋め込み層106を形成す ることによって熱膨張を増大させ、加熱機構からの熱の 伝達を良好にし、より大きな歪みを加えることが可能と 40 なる。また、加える歪みの絶対量は溝105の幅や深さ で制御することができ、発光素子にとって最適な構造と することが可能である。

【0020】また、結晶に一軸性の歪みを加える方法と してストライプ状の酸化膜の形成が考えられる。図6、 7 にこの発明の一実施例の半導体発光素子の構造図を示

【0021】結晶成長を行う前にストライプ状の酸化膜 109をサファイア基板108の一主面に形成する。

上に昇温するとサファイア基板108と酸化膜109の 熱膨張係数の違いによって図中Zの方向に湾曲させること とができる(図7)。その状態で結晶成長を行い室温に 戻すことによってZ方向に歪みの入った結晶を得ること ができる。この場合、その歪み量はストライプの幅とピ ッチで制御される。たとえば半導体レーザを作製する場 合、その幅は5ミクロン、ピッチは10ミクロン程度が 適している。

【0023】類似の方法としてあらかじめAIGaln N発光層を有機金属気相成長法により成長する方法があ る。その後、ストライプ状の酸化膜109を形成するが そのとき500℃程度の高温で形成することにより同様 の湾曲を発生させ結晶中に一軸性の歪みを加えることが できる。これはストライプ状の酸化膜109を形成後高 温で熱処理することによっても同様の効果を得ることが

【0024】同様の効果を金属のバイメタル効果を利用 することによって実現することが可能である。図8にこ の発明の一実施例の半導体発光素子の構造図を示す。A |GalnN発光素子を作製する場合SiC基板112 を用いることは有効である。あらかじめAIGalnN 発光層116を有機金属気相成長法により成長する。そ の後、Ni層113上にストライプ状の第一のAu層1 14を形成することによってバイメタル効果で図中2方 向にSiC基板112を湾曲させることができる。その 結果AIGaInN発光層116に一軸性の歪みを加え ることができる。この場合Ni層113がSiC基板1 1.2 に対して電気的なオーミック特性を示すため半導体 発光素子を作製した場合の効果は大きい。

【0025】さらに図9にこの発明の一実施例の半導体 発光素子の構造図を示す。これは結晶成長を行うときに 外部から応力を加えておく方法で、あらかじめ用意され た曲率Rの面を有するトレイ119上にサファイア基板 117をとめ治具118を用いて固定する。その後、基 板117に発光層を成長し取り出すとサファイア基板1 17は元の状態に戻ろうとし発光層に歪みが加わる。こ の方法の特徴は加える歪みの量をトレイ119の曲率を 機械的に変化させることによって制御できることであ る。

【0026】(実施例2)図10は第2の実施例を示す ウルツ鉱型 l n, G a<sub>1-</sub>, N/A l, G a<sub>1-</sub>, N量子井戸半 導体レーザの素子断面図である。井戸層に In, Ga1-, N、障壁層にAI, Ga,-, Nを用いている。

【0027】有機金属気相成長方法により(1100) LiTaO<sub>1</sub>基板201上にAINバッファ層202、 n – A I, G a₁-, Nクラッド層203、A I, G a₁-, N 第1光ガイド層204、In,Ga<sub>1</sub>.,N/GaN多重 置子井戸活性屬205(InxGa1-xN量子井戸 層、GaN量子井戸層の積層構造)、AI,Ga,-,N第 【0022】その後結晶成長を行うために1000℃以 50 2光ガイド層206、p-Al,Ga₁-,Nクラッド層2

07を連続的に形成する。

【0028】その後エッチングによりリッジストライプ208を形成し、SiO2絶縁膜209を堆積した後、電流注入のためにSiO.絶縁膜209に開口部210および211を形成する。そして最後にアノード電極212およびカソード電極213を形成する。

【0029】このウルツ鉱型InGaN/AIGaN盤 子井戸半導体レーザを構成する層構造は組成、材料によ り成長温度が異なる場合が多いが、例えば有機金属気相 成長法を用いた場合AINバッファ層202を除いて8 10 00~1100℃の範囲で作製される。したがって成長 終了後に室温に戻された結晶には基板との熱膨張係数差 によって歪が発生する。なお、成長時には多結晶状であ るAINバッファ層202を種結晶としてそれ以降の結 晶が成長されるので、(1 1 0 0 ) L i T a O<sub>1</sub> 基板 2 01とそれ以外の層との格子定数差が歪に反映されるこ とはほとんどない。もちろんn-Al,Ga╷-,Nクラッ ド層203からp-Al, Ga<sub>1-1</sub>Nクラッド層207ま でのヘテロ構造において材料間で格子定数が異なる場合 もあり、この格子定数差が歪に反映されることはあり得 20 るが、ミスフィット転位等が発生しないように材料、膜 厚を選べばよい。しかし、前述の熱膨張係数差による歪 は回避できない。そこで本発明ではこの歪を積極的に利

【0030】図15に基板として用いたLiTaO,基 板201および、ウルツ鉱型GaN結晶との面内での熱 膨張係数を示す。本実施例では(1100) Li TaO 3 基板を用いているので面内では熱膨張係数に異方性が あり、図11に示すように(0001)方向とこれと垂 直な(11<sup>2</sup>0)方向とで表している。なお、ウルツ 30 鉱型GaN系材料は、基板の面方位に係わらず(000 1) 配向で結晶が成長するので各層とも(0001)方 向に垂直に形成されいる。ウルツ鉱型GaN系材料の熱 膨張係数は(0001)面で等方的であり、GaNでは 5.6×10<sup>-1</sup>である。A | Ga | n N混晶のいかなる 組成の材料でもこの付近の熱膨張係数を有する。一方し i TaO3基板は(0001)方向では1.2×10<sup>-6</sup> とGaNよりも小さい熱膨張係数を有しているが、(1 1 ~ 20) 方向では逆に2.2×10<sup>-1</sup>とGaNよりも はるかに大きい熱膨張係数を持つ。したがって図10の 40 半導体レーザにおいて(1100)LiTa〇、基板2 0 1 が、結晶成長により作製されたn-AI, Ga,., N クラッド層203からp-A l, G a,-, Nクラッド層2 07までの結晶よりも十分に厚い場合、例えば成長温度 が室温よりも1000℃と高いと仮定すると、室温に冷 却したときにn-AI、Gai、Nクラッド層203から p-Al, Ga<sub>1-1</sub> Nクラッド層207までの結晶には、 (0001)方向の歪をe..、(11<sup>20</sup>)方向の歪 をe,,とするとe,,=-0.44%、そしてe,,=1.6% となる。このようにして In, Ga<sub>1-1</sub> N/Ga N多重量 50

子井戸活性層205面内に、非等方歪(等方的でない 歪)を作り込むことができるので価電子帯の状態密度を 大幅に低減でき、レーザのしきい値電流の低減が可能と なる。

【0031】ただし、n-AI,  $Ga_{1-1}$ , NO=9ッド層203からp-AI,  $Ga_{1-1}$ , NO=9ッド層207までの結晶成長層の全体の膜厚が厚い場合、上で述べた基板との熱膨張係数差による歪、すなわち $e_{1-1}$ ,  $e_{1-1}$ 

 $e'_{xx} = -0.4 cos \theta$ 

e',,=1.6cosφ

となり、小さくできる。したがって適当にqおよび f を選ぶことによって転位欠陥の導入を防ぐことができる。 e',, +e',, =0 となるようにqおよび f を選べば、特に転位欠陥防止の効果が高い。

 【0032】なお、本実施例では基板としてLiTaO 、を用いたが、他の非線形光学結晶、例えばLiNbO。 やKTiOPO4、KNbO。、LiB。O。等の材料は LiTaO3と同様に熱膨張係数の異方性が大きく、成 長温度で安定なら使用可能である。

【0033】(実施例3)図13は第3の実施例を示す ウルツ鉱型InGaN/AIGaN量子井戸半導体レー ザの素子断面図である。結晶成長により(0001)サ ファイア基板301上にAINバッファ層302、n-AlzGa1-zNクラッド層303、AlyGa1-y N 第1光ガイド層304、InxGa1-xN/Ga N多重量子井戸活性層305、A1,Ga,.,N 第2光 ガイド層306、pーAlzGal-zN第1クラッド層 307、p-A1、Ga, , N歪導入層308を連続的 に形成する。その後一旦結晶成長装置から基板を取り出 し、エッチングによりp-Al, Ga,, N歪導入層3 0.8を幅2mmのストライプ状に加工し、再び成長装置 に戻してからp-AI,Ga<sub>1-1</sub>N第2クラッド層309 を成長させる。そしてSiO2絶縁膜310を堆積した 後、電流注入のためにSiO2絶縁膜310に開口部3 11および312を形成する。そして最後にアノード電 極313およびカソード電極314を形成する。

【0034】ここでp-AI、Ga<sub>1-1</sub>、N歪導入層308のAI組成比z'をp-AI、G<sub>1-1</sub>、N第1クラッド層307およびp-AI、Ga<sub>1-1</sub>、N第2クラッド層309のAI組成比zよりも大きく選ぶと格子定数がp-AI、Ga<sub>1-1</sub>、N歪導入層308の方が小さいために図14に示すように周囲の結晶に圧縮の歪を導入することができる。

【0035】このように局部的な歪が導入できるのは p - A I. G a... N歪導入層 308の幅が 2 mm程度と 小さいためで、この幅が十分大きくなるとp-Al, G a<sub>1-1</sub> N歪導入層 3 0 8 自身に歪が入るだけで付近の結 晶へは歪を導入できなくなる。 p - A I,· G a,...· N歪 導入層308はストライプ状に作製されているのでスト ライプに垂直な面では周囲の結晶に歪を導入することが できるが、ストライプに平行な面では歪は導入されな い。その結果、In,Ga╷-,N/GaN多重量子井戸活 性層305面内においてもストライプに垂直な面内のみ に歪を導入できるので、歪に異方性が生じ、ホールの状 態密度を低減できる。In,Ga,-,N/GaN多重量子 10 井戸活性層305への歪はp-Al,·Ga,-,·N歪導入 層308との距離が近いほど大きくできるのでp-Al , G a<sub>1-</sub>, N第1クラッド層307の膜厚を適当に設定す ることで調整が可能である。

【0036】なお、本実施例ではp-Al, Ga,., N 歪導入層308のAI組成比z′をp-AI, Gaィ-, N第 1 クラッド層 3 0 7 およびp - A I, G a<sub>1-</sub>, N第 2 クラ ッド層309のAl組成比zよりも大きく選んだが、逆 に小さく選んだ場合でも同様の異方性歪を作り込むこと ができる。特にz'がzよりも小さい場合、pーAl.G a<sub>1-1</sub> N歪導入層308によって光導波構造も実現でき る。 p - A I. G a, ... N歪導入層 3 0 8 はその横の p - A 1, G a1-, N 第 2 クラッド層 3 0 9 よりも屈折率が 大きいからである。このため非常に簡単に屈折率導波構 造が実現できる。

【0037】(実施例4)図16にこの発明の一実施例 の半導体レーザの製造方法を示す。

【0038】有機金属気相成長法等の結晶成長方法を用 いて、例えば(0001)面サファイア基板上に作製さ れたAI,Ga,In,N系(0≦x≦1、0≦y≦1、 0 ≤ z ≤ 1) の半導体レーザ401のチップを図16 (a) に示すように、まず、200℃の高温でサブマウ ント402上に配置する。サブマウント402の構造は 図17に示すように、LiTaO。 403、ハンダ材 404から成る。LiTaO, 403は異方性結晶の 誘電体であり、半導体レーザ401は(0001)面に 垂直な面、例えば、(1120)面や(1100)面上 に実装する。

【0039】ハンダ材404には例えばPb-Sn等を 用いる。200℃で溶融したハンダ材は、室温に下がっ 40 げる温度によって制御することができる。 た際に固まり、半導体レーザ401がサブマウント40 2上に固定される。LiTaO,403のa軸方向の熱 膨張係数は22×10-6/Kで、c軸方向のそれは1. 2×10<sup>-1</sup>/Kである。即ち、図16 (a) の×軸方向 とy軸方向の熱膨張の割合が大きく異なり、半導体レー ザ401がサブマウント402に固定される時に、半導 体レーザ401に不均一な応力が加わることになる。半 導体レーザ401に加えられる一軸性の応力の量は上げ る温度によって制御することができる。つまり、温度が 高い程より大きな応力を加えることが可能となる。

【0040】本実施例の半導体レーザ401はウルツ鉱 型の結晶を用いている。この結晶は(0001)軸に垂 直な方向に一軸性の応力を加えることにより、価電子体 のバンド構造を変化させることができ、有効質量を低減 でき、状態密度を低下させることができて、結果とし て、半導体レーザのしきい値電流や駆動電流を低減でき て信頼性の高いレーザを得ることができる。

14

【0041】このようにウルツ鉱型の半導体発光素子 と、方位によって熱膨張係数が大きく異なる異方性結晶 を組み合わせることによって、上記半導体発光素子の特 性を大きく向上させることが可能となる。

【0042】本実施例では、半導体レーザ401は(0 001) 面に垂直な面、例えば、(1120) 面や(1 100) 面上に実装するものとして説明したが、一軸性 の応力が加わるようなサブマウントであれば面方位を問 わない。

【0043】(実施例5)図18にこの発明の別の実施 例の半導体レーザの製造方法を示す。

【0044】有機金属気相成長法等の結晶成長方法を用 20 いて、例えば(0001)面サファイア基板上に作製さ れたAl,Ga,In,N系(0≦x≦1、0≦y≦1、 0 ≤ z ≤ 1) の半導体レーザ 5 0 1 のチップを図 1 8 (a) に示すように、まず、180℃の高温でサブマウ ント502上に配置する。サブマウント502の構造は 図19に示すように、Fe-Ni合金503、Fe-N i - M n 合金 5 0 4 、 P b - S n ハンダ 5 0 5 から成 る。Fe-Ni合金503はインバー(Invar)と呼 ばれ、温度が変化しても長さがほとんど変化しない材料 である。また、Fe-Ni-Mn合金504は温度の上 30 昇に伴って熱膨張が著しい材料である。 Fe - Ni 合金 5 0 3 と F e - N i - M n 合金 5 0 4 をはり合わせるこ とで、温度変化によって湾曲するようなサブマウントが

【0045】180℃で溶融したハンダ材は室温に下が った際に固まり、半導体レーザ501がサブマウント5 02上に固定される。半導体レーザ501がサブマウン ト502に固定される時に、半導体レーザ501に一方 方向への応力が大きい不均一応力が加わることになる。 半導体レーザ501に加えられる一軸性の応力の量は上

【0046】本実施例の半導体レーザ501はウルツ鉱 型の結晶を用いている。この結晶は(0001)軸に垂 直な方向に一軸性の応力を加えることにより、価電子体 のバンド構造を変化させることができ、有効質量を低減 でき、状態密度を低下させることができて、結果とし て、半導体レーザのしきい値電流や駆動電流を低減でき て信頼性の高いレーザを得ることができる。

【0047】このようにウルツ鉱型の半導体発光素子 と、バイメタルとの組み合わせによって、上記半導体発 50 光素子の特性を大きく向上させることが可能となる。

【0048】本実施例では、図19の様なサブマウント を用いて説明したが、一方向に湾曲するようなサブマウ ントであれば本発明の効果は大きい。例えば、図20に 示すような構造等でも構わない。すなわち、Fe-Ni -Mn合金504の裏面に、温度変化に対して膨張しな いFe-Ni合金503をストライプ状に形成する。こ の構造でも、(b)に示すようにストライプと垂直方向 にサブマウントを湾曲させることができる。

【0049】図21にこの発明の別の実施例の半導体レ ーザの製造方法を示す。有機金属気相成長法等の結晶成 10 長方法を用いて、例えば(1120)面サファイア基板 上に作製されたAI,Ga,In,N系(0≦x≦1、0 ≦y≦1、0≦z≦1)の半導体レーザ551のチップ を図21に示すように、まず、サブマウント552上に 配置する。その後、加重用のコレット553を用いて上 面から半導体レーザ553に応力を加えながら紫外線硬 化樹脂554に紫外線を照射して半導体レーザ551を サブマウント552に固定する。半導体レーザ551が サブマウント552に固定される時に、半導体レーザ5 51に上下方向に応力が加わる。

【0050】本実施例の半導体レーザ551はウルツ鉱 型の結晶を用いている。この結晶は(0001)軸に垂 直な方向に一軸性の応力を加えることにより、価電子体 のバンド構造を変化させて有効質量を低減でき、状態密 度を低下させることができて、結果として、半導体レー ザのしきい値電流や駆動電流を低減できて信頼性の高い レーザを得ることができる。

【0051】本実施例では、図21に示すように半導体 レーザに上面から応力を加えたが、側面から加えられる ような構造でも良く、例えば図22のような構造として 30 もよい。すなわち、サブマウント555に設けた凹部に 半導体レーザ551を設置する。半導体レーザの活性層 には六方晶化合物半導体を用い、その結晶はc軸方向に 成長している。 1

【0052】サブマウント555の両サイドには、半導 体レーザ551の側面に加重用板バネ556を介して応 力をかけるための加重用ネジ557が設置されている。 レーザ551は凹部に紫外線効果樹脂554で固定さ れ、加重用ネジ557を回転することで、レーザ551 の活性層の c 面内に一軸歪を導入できるようになってい 40 る。この一軸歪により、しきい値電流の小さい半導体レ ーザを実現できる。

【0053】本実施例では(1120)基板上に成長し た半導体レーザを用いて説明したが、一軸性の応力が (0001) 面に垂直な方向に加わるような構造であれ ば本発明の効果は大きい。

【0054】本実施例では紫外線硬化樹脂を用いて説明 したが、半導体レーザとサブマウントを固定できるもの であればよく、例えば熱硬化樹脂等でも構わない。

A | G a | n N系半導体発光素子の製造工程を示すもの

【0056】結晶成長は減圧MOVPE法であり、2回 のMOVPE成長により素子構造を形成した。まず、図 23 (a) に示すように、6H-SiC基板601を脱 脂洗浄した後、MOVPE法による第一の結晶成長を行 った。成長方法について詳細に説明する。MOVPE装 置の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/ 10気圧に設定した後、水素ガス中で基板601を11 00℃まで昇温し、6H-SiC基板601表面の清浄 化を行った。

【0057】次いで、基板温度を600℃まで降温した 後、6H-SiC基板601面上にV族原料としてアン モニアガスを導入し、10秒後に111族原料としてト リメチルアルミニウムを供給して膜厚50nmの非単結 晶AIN層602を堆積した。その後、一旦トリメチル アルミニウムの供給を停止し、基板温度を900℃まで 昇温して、「1」族原料としてトリメチルアルミニウム を再度供給し膜厚5μmの単結晶AIN層603を堆積 20 した。

【0058】次に、エッチング用マスクとしてSiO<sub>2</sub> を用い、図23(b)に示すように、幅3μm、間隔2 μmの2本のストライプ溝を形成した。

【0059】エッチング用マスクを除去した後、MOV PE法による第二の結晶成長を行った。MOVPE装置 の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/1 0 気圧に設定した後、水素ガスとアンモニアガスの混合 雰囲気中で6H-SiC基板601を1100℃まで昇 温し、表面の清浄化を行った。次いで、基板温度を10 30℃に降温した後、111族原料としてトリメチルア ルミニウム、トリメチルインジウムとトリメチルガリウ ムを供給し、図23 (c)に示すように、膜厚3μmの Siドープn型AIGaInNクラッド層604、膜厚 20 nmのA l G a l n N活性層 6 0 5、膜厚 2 μmの Mgドープp型AIGaInNクラッド層606をスト ライプ溝内部を含め全表面に連続的に積層した。最後に p側電極607、n側電極608を形成しレーザ構造を 完成した。

【0060】以上の製造工程から、上記のダブルヘテロ 構造の積層に際しては、2本のストライプ溝部609の 組成と2本のストライプ溝間の平坦部610において各 1 | | 族元素の結晶内への取り込まれ効率が異なるた め、組成変化が生じる。この場合、組成変化は、格子定 数の変化に対応し、両側から格子定数の異なる結晶によ ってサンドイッチされた平坦部610においては、両側 の溝部609から横方向に応力が発生することとなる。 したがって、平坦部において、ストライプ方向とは垂直 方向のみ選択的に歪みを加えることができる。これは、 活性層の面内方向のほぼ一軸歪となり、価電子帯の状態 【0055】(実施例6)図23は本発明の一実施例の 50 密度を小さくすることができる。また、2本のストライ

プ溝間の平坦部610においては活性層が湾曲するため、平坦部610を発光部とした低しきい値電流で横モード安定な半導体レーザが実現できる。

【0061】なお、発光部となる平坦部610にかかる 歪量は2本のストライプ溝間隔、深さやSiドープn型 AIGaInNクラッド層604の厚みを変化させることで容易に制御できる。

【0062】(実施例7)図24は本発明の一実施例の 製造方法によるAIGaInN系半導体発光素子の製造 工程を示すものである。実施例6との違いは、ストライ 10 プ溝部に代えて、凹部を設けていることである。この凹 部の傾斜部を利用することで、凹部の平坦部の活性層に 歪を加えることができる。

【0063】結晶成長は減圧MOVPE法であり、2回 のMOVPE成長により素子構造を形成た。まず、図2 4 (a) に示すように、6H-SiC基板651を脱脂 洗浄した後、MOVPE法による第一の結晶成長を行っ た。成長方法について詳細に説明する。MOVPE装置 の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/1 0 気圧に設定した後、水素ガス中で基板 6 5 1 を 1 1 0 20 0℃まで昇温し、6H-SiC基板651表面の清浄化 を行った。次いで、基板温度を600℃まで降温した 後、6 H-SiC基板651面上にV族原料としてアン モニアガスを導入し、10秒後に111族原料としてト リメチルアルミニウムを供給して膜厚50nmの非単結 晶AIN層652を堆積した。その後、一旦トリメチル アルミニウムの供給を停止し、基板温度を900℃まで 昇温して、III族原料としてトリメチルアルミニウム を再度供給し膜厚 5 μmの単結晶 A I N層 6 5 3 を堆積 した。

【0064】次に、エッチング用マスクとして $SiO_0$ を用い、図24(b)に示すように、 $幅3\mu$ mストライプ溝を形成した。

【0065】エッチング用マスクを除去した後、MOVPE装置の反応室内に水素ガスを導入し、反応室内圧力を1/10気圧に設定した後、水素ガスとアンモニアガスの混合雰囲気中で6H-SiC基板651を1100℃まで昇温し、表面の清浄化を行った。次いで、基板温度を1030℃に降温した後、1-I族原料としてトリメチルアルミニウム、トリメチルインジウムとトリメチルガリウムを供給し、図24(c)に示すように、膜厚3μmのSiドープn型AIGaInNクラッド層654、膜厚20nmのAIGaInN方性層655、膜厚2μmのMgドープp型AIGaInNクラッド層656をストライプ溝内部を含め全表面に連続的に積層した。最後にp側電極657、n側電極658を形成しレーザ構造を完成した。

【0066】以上の製造工程から、上記のダブルヘテロ 線を照射せずに1000℃で有機金属気相成長法により 構造の積層に際しては、ストライプ溝側面部659の組 50 GaN結晶層を堆積する。このような成長を行うと多結

成とストライプ溝平坦部660において各III族元素の結晶内への取り込まれ効率が異なるため、組成変化が生じる。この場合、組成変化は、格子定数の変化に対応し、両側から格子定数の異なる結晶によってサンドイッチされた平坦部660においては横方向に応力が発生することとなる。したがって、平坦部660において、矢印で示すようにストライプ方向とは垂直方向のみ選択的に歪みを加えることができる。よって、平坦部660の活性層の面内方向に一軸歪を加えることができるので、平坦部660を発光部とした低しきい値電流で横モード安定な半導体レーザが実現できる。なお、発光部となる平坦部660にかかる歪量はストライプ溝幅、深さやSiドープn型AIGaInNクラッド層654の厚みを変化させることで容易に制御できる。

【0067】(実施例8)図25(a)に示すように(0001)サファイア基板801上に有機金属気相成長(MOVPE)法によりGaN結晶層802及び803を堆積する。原料にはトリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH3)を用い、原料のキャリアガスには水素ガスを用いる。成長圧力は100Torrである。気相成長の際に反応室に設けた覗き窓からエキシマレーザ等の光線を基板の一部に選択的に照射する。成長温度は通常単結晶が得られる温度よりも低い温度である500℃で行う。これは選択的に格子定数の異なるGaN結晶層を2次元的に配列するためである。

【0068】図26に気相成長中のレーザ照射強度によ ってGaN結晶の格子定数が変わることを見いだしたデ ータを示す。これは成長温度が十分低いと多結晶的なG a N結晶ができ見かけ上の格子定数が大きくなるためと 30 考えられる。このことから強い強度のレーザ光線を照射 すると照射した部分の成長温度が選択的に上昇して単結 晶化されるものと考えられる。図25(a)に示すよう にエキシマレーザを10kWの強度で(0001)サフ ァイア基板801上に選択的に照射して有機金属気相成 長を行うと、レーザ光を照射した領域では格子定数が本 来の単結晶の値であるGaN結晶層802が堆積されレ ーザ光を照射していない領域では格子定数が大きい多結 晶的なGaN結晶層803が堆積される。その結果、図 25 (b) に示すようにGaN結晶層802とGaN結 晶層803の境界領域では境界線に沿った方向には歪が 生じ、境界線に垂直な方向では歪の無い2次元的に異方 性のある歪状態が作製できる。これを例えば窒化ガリウ ム系半導体レーザの活性層に用いれば著しい特性改善が 期待される。なお、成長温度は多結晶が得られる700 ℃以下なら同様の効果が得られるので本発明においては 500℃に限定するものではない。

【0069】(実施例9)さらに、図27に示すように GaN結晶層802とGaN結晶層803上にレーザ光 線を照射せずに1000℃で有機金属気相成長法により GaN結晶層を推辞する。このような成長を行うよるは 20

晶的なGaN結晶層803上のGaN結晶層805の格 子定数は大きく単結晶のGaN結晶層802上のGaN 結晶層804の格子定数は小さくすることができる。こ の場合の成長温度は前記GaN結晶層802とGaN結 晶層803を堆積した温度よりも高いことが重要で、格 子定数の大きい多結晶的なGaN結晶層803をバッフ ァ層としてより単結晶に近い結晶性の良いGaN単結晶 層805を堆積できる。したがって図25に示したよう なレーザ光線を照射するだけの製造方法よりも高品質な GaN単結晶層を作製できる。

【0070】(実施例10)また、このとき図25で示 したGaN結晶層802とGaN結晶層803の膜厚を 変化させることにより、サファイア基板からの格子不整 合の情報を制御できるので、GaN結晶層802とGa N結晶層803の膜厚を変化させてGaN結晶層805 の格子定数を変化させることができ歪量を制御すること が可能である。このような製造方法で作製した2次元的 な歪をもったGaN単結晶層を例えば窒化ガリウム系半 導体レーザの活性層に用いれば著しい特性改善が期待さ れる。

【0071】なお、本実施例ではGaN単結晶の成長方 法を示したがAIN、InN及びこれらの混晶において も同様の効果が得られることは明らかである。また、基 板はサファイア基板に限らずSiC、ZnO等の基板に おいても同様の効果が得られる。

【0072】 (実施例11) 本発明の第11の実施例に ついて説明する。図28は実施例における製造工程断面 図である。サファイア基板1101を有機金属気相成長 装置の反応管にセットし、前記サファイア基板1101 ア、トリメチルアルミニウム、トリメチルガリウムを供 給することによりAIGaNクラッド層1102を5 u m、水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリ メチルインジウム、トリメチルガリウムを供給すること によりn型AIGaInNクラッド層1103を5μ m、水素、アンモニア、トリメチルインジウム、トリメ チルガリウムを供給することにより In GaN活性層 1 104を0.01 $\mu$ m、水素、アンモニア、トリメチル アルミニウム、トリメチルインジウム、トリメチルガリ ウム、ジエチルジンクを供給することにより p型AIG 40 alnNクラッド層1105を2μm、それぞれ有機金 属成長法により成長し、ダブルヘテロ構造を形成する。

【0073】このとき前記AIInGaNクラッド層1 103、1105および前記 In GaN活性層1104 は前記AIGaNクラッド層1102に比べ格子定数が 大きいため、圧縮歪が入った状態となる。

【0074】続いて前記サファイア基板1101、前記 AIGaNクラッド層1102、前記AIInGaNク ラッド層1103、1105、および前記InGaN活 性層1104の側面に絶縁膜1106を熱CVDにより 50 堆積し、(a)のような構造を形成する。

【0075】続いてフォトリソグラフィおよび四フッ化 炭素による反応性イオンエッチングによって前記AIG aNクラッド層1102の側面が露出するように、前記 絶縁膜をエッチングし、(b)のような構造を形成す

【0076】続いて塩素による反応性イオンビームエッ チングによって、側面より前記AIGaNクラッド層1 102を5µmエッチングし、(c)のような構造を形 10 成する。AIGaInN1103、InGaN110 4、AIGaInN1105はAIGaNクラッド層1 102と比べて | nを含んでいる分、格子定数が大きい ので、AIGaNクラッド層1102がエッチングされ てなくなっている部分は、ストレスがフリーとなってい るので、本来の格子定数となるため、横方向に伸びたよ うに図示している。下部にAIGaN1102がある部 分は、本来の格子定数よりも小さくなり、圧縮歪が導入 されている。

【0077】図29に絶縁膜を除去した後の断面構造図 と、上から見た平面図を示す。1107、1108は、 上面から見た場合のInGaN活性層1104を構成す る結晶の格子定数を表した模式図である。1107に示 す領域においてはInGaN活性層1104は、この活 性層より格子定数の小さいAIGaNクラッド層110 2上に堆積されているため、InGaN活性層1104 は成長方向に垂直な全方向より応力を受け、2次元的に 圧縮歪となっている。ただし圧縮歪を受けている分、成 長方向に伸びている。 : ,

【0078】一方、1108に示す領域においては下部 を1000℃まで加熱し、前記反応管に水素、アンモニ 30 にAIGaNクラッド層1102が存在しないため、成 長方向に垂直な方向の内、図29の右への方向に対して は応力を受けないためストレスフリーとなる。したがっ て、選択的な方向に圧縮歪を加えることができる。

> 【0079】このように、活性層1.104において、A IGaN層1102が下部にある部分と、除去されてな い部分との境界部 (1107と1108との境界) で、 矢印に示す方向に歪が発生することになり、この歪が面 内方向での一軸歪となり、価電子帯の状態密度を小さく することができる。1107の部分では、活性層110 4は面内方向に圧縮歪を等方的に受けているので、この 歪は、しきい値電流の低減には寄与しない。しかし、1 107と1108との境界部では、等方的でない歪が生 じるため、しきい値電流の低減に大きく寄与することに なる。

> 【0080】また図28 (d) のようにAIGaNクラ ッド層1102の代わりに、InGaNクラッド層を、 InGaN活性層1104の代わりにAIGaInN活 性層を用いることにより、同様の方法でAIGalnN 活性層における、下部にInGaNクラッド層がある部 分とない部分との境界部に選択的に引っ張り歪を加える

.22

ことも可能である。

【0081】なお選択エッチングを前述の絶縁膜のパターニングおよび反応性イオンビームエッチング等のドライエッチングを用いる代わりに、電気分解による選択性エッチングを用いることも可能である。この際被エッチング層は電気分解によるエッチングが多の層にくらべより促進させるため、高濃度の不純物を添加し、電解液中にて電極を接触して電圧を印加することによりエッチングの促進が可能となる。また被エッチング層とデバイス構造を形成する層の間には電気的な干渉を防ぐために1 10 μ m程度以上の絶縁層を積層する必要がある。

【0082】(実施例12)次に本発明の第12の実施例について説明する。図30は実施例における製造工程の模式図である。サファイア基板1201を有機金属気相成長装置の反応管にセットし、サファイア基板1201を1000℃まで加熱し、反応管に水素、アンモニアおよびトリメチルガリウムを供給することにより基板上にGaN結晶の成長核1202を形成する。この際、成長核の形成密度を小さくするため、反応管内の圧力は10Torrと低圧にしておく。

【0083】引き続いて、圧力を5Torrとさらに低圧にしてアンモニアおよびトリメチルガリウムを供給することによりGaN1203の成長を行う。この際、圧力が非常に小さいため基板上に新たな結晶の成長核は形成されず、また基板に垂直に積層されることもなく、結晶側壁に最も単結晶が析出しやすい条件となる。したがってGaN結晶1203は結晶核1202を中心として基板に平行に螺旋状に成長が行われ、螺旋状薄膜となる。

【0084】図31はこのときのGaN結晶1203の 30 単位胞1204の状態を表した模式図である。動径方向 に関しては応力を受けないが、円周方向においては外周 へ向かうほど引張応力を受ける。したがって転位に至ら ない限り、GaN結晶1203は引張歪を円周方向にの みもつ非対称歪結晶(等方的でない歪)となる。

【0085】続いて、反応管内の圧力を80Torrまで上げ、基板に垂直な方向への積層が可能な条件にし、GaN螺旋状薄膜1203上に水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルガリウムを供給することによりn型AIGaNクラッド層1205を5 $\mu$ m、水素、アンモニア、トリメチルインジウム、トリメチルガリウムを供給することによりInGaN活性層1206を0.01 $\mu$ m、水素、アンモニア、トリメチルアルミニウム、トリメチルガリウム、ジエチルジンクを供給することによりp型AIGaNクラッド層1207を2 $\mu$ m成長し、ダブルへテロ構造を形成する。

【0086】本方法によれば、エッチングや選択再成長などの工程を用いず、成長時に圧力を変化させるのみで容易に非対称歪結晶を形成することが可能である。したがって、この方法で製造した半導体レーザは、しきい値

電流の小さいものとなる。

【0087】(実施例13)図34は本発明の一実施例で用いられる成長装置の断面概略図である。図中1011は石英製の反応管で、この反応管11内にはガス導入口1012から原料ガスが導入される。反応管1011内にはカーボン製のサセプタ1013が配置されており、試料基板1014はこのサセプタ上面に設置される。サセプタはエピタキシャル層の組成および膜圧の面内均一性を得るために、回転機構を備えている。反応管の周囲に配置された高周波コイル1015によってサセプタは誘導加熱される。サセプタ内に配置された熱伝対1016によて基板加熱温度のモニタおよび制御ができるようになっている。ガス排気口1017は真空ポンプ1018に接続されており、反応管内の圧力調節およびガスの排気ができるようになっている。

【0088】次に、上記の装置を用いた結晶成長方法について図34、図35を用いて説明する。まず、有機溶剤、塩酸系の薬品処理および純水洗浄により表面を清浄化した面方位(0001)のα-Al,O,(サファイ20ア)基板1031を上記サセプタ1013上に設置し、基板ホルダー1021によって固定する。ガス導入口1012から精製装置を通した高純度の水素ガスを導入し、反応管1011内の大気を置換する。数分間水素ガスを導入した後に真空ポンプ1018を作動させ管内の圧力を10Torrに保つ。圧力が安定したところで高周波コイル1015によってサセプタを誘導加熱し、試料基板1014の温度が1200℃に達してから約10分間保持し基板表面の清浄化を行う。

【0089】次いで基板温度を400℃に降温してから原料ガスであるTMG(トリメチルガリウム)およびNHi(アンモニア)をガス導入口1012から導入しアモルファス状のGaN膜1035を膜圧0.1μmになるまで堆積させる。このとき、基板温度が通常の成長条件に比べて低いためNHiの分解効率が低いことを考慮して、NH3とTMGの流量比は10000:1とした。このとき成長温度が上記温度よりも高いと、3次元成長すなわち6角柱状の島状成長がおこり、均一なアモルファス状のGaN膜が得られなかった。

【0090】GaN膜1035の堆積後は基板温度が下40 がってから、一旦試料基板を反応管1011から取り出し、フォトリソグラフィー工程により図35(b)に示すように、サファイア基板のR面に直交する方向にストライプ状にアモルファス状のGaN堆積膜1035を残した。ここでR面は図35のサファイア基板31の断面となっている面であり、ストライプは紙面に垂直方向、つまりR面に直交する方向に伸びている。ストライプの幅および間隔はそれぞれ5μmおよび50μmとなっている。

容易に非対称歪結晶を形成することが可能である。した 【0091】充分な純水洗浄の後、再び試料基板を反応がって、この方法で製造した半導体レーザは、しきい値 50 管1011内に戻し、今度は水素ガスの代わりにNH,

ガスを流しながら、上述の要領で試料基板1014の温 度が1100℃になるまで加熱し、試料基板表面の清浄 化を行う。

【0092】次いで、TMGおよびNH,をガス導入口 1012から導入し通常の2段階成長法でGaN膜をエ ピタキシャル成長させる。すなわち、基板温度を600 ℃まで下げ、ます、 0. 0 5 µmの膜厚まではGaN膜 1033が3次元成長、すなわち6角柱状の島状成長が 促進されるようにし、その後、基板温度を1050℃に 上げて続けて、GαN膜1034を膜厚が5.0μmと なるまでエピタキシャル成長を行った。このときNH3 とTMGの流量比は300:1とした。エピタキシャル 成長したGaN膜1034は、下部にアモルファス状の GaN膜1035が存在するところは、アモルファスラ イクの結晶となる。アモルファスの上にはアモルファス しか積もらないからである。ここではその膜をアモルフ ァス状のGaN膜1036とよぶ。

【0093】また、このアモルファス状のGaN膜10 36にはさまれた領域を素子形成領域1041としてい る。それは、この領域は後述するように転位密度がすく 20 なく、また結晶中の歪が等方的でない (異方性をもつ) ようになっている。つまり、ストライプに平行な方向に は、基板1031とGaN膜1034との格子定数の差 に起因する歪が残り、垂直な方向には歪が緩和されてい るからである。 /-

【0094】このように、等方的でない歪を有するGa N膜の素子形成領域1041に例えば半導体レーザを形 成したとすると、その歪の状態からしきい値電流の小さ いものをつくることができる。

得たGaNエピタキシャル層の結晶品質について述べ る。図36は比較のため、従来の二段階成長法により、 面方位(0001)のα-AI,O,(サファイア)基板 1031上に成長した厚さ5µmのGaNエピタキシャ ル層1033、1034の断面の透過電子顕微鏡像から 得られた転位の分布を示している。

【0096】基板1031との界面1037から格子不 整合による歪みが原因で一様に発生した転位1032は エピタキシャル成長方向に蛇行しながらエピタキシャル 層表面に延びている。図中、途中から見えている、ある 40 いは途中で消えている転位は、断面に垂直な方向に転位 が延びているために透過電子顕微鏡の視野から外れてい るためで、転位が消滅しているわけではない。透過電子 顕微鏡像から転位密度を見積もると、10'/cm'以上 の転位が一様に発生しており、エピタキシャル層に加わ る格子歪みも面内で等方的である。

【0097】一方、本実施例によるところのGaNエピ タキシャル層を図37を使って説明する。断面の透過電 子顕微鏡像から得られた転位の分布も模式的に図37に

プ状に形成されたアモルファス状のGaN膜1035の 上の結晶欠陥の集中した部分に達していることがわかっ た。すなわち、ストライプの直行方向1039では歪み が緩和されるのに対して、平行な方向1040では歪み が結晶内に内在されやすい。従って、格子不整合による 歪みがストライプに平行な方向1040に偏ったエピタ キシャル層が得られる。

【0098】。さらに別の効果として、ストライプとスト ライプとにはさまれた素子形成領域1041の転位密度 は105/cm3以下と図36の従来例に比べきわめて結 晶性の優れたGaN膜が得られていることがわかった。 また歪についてもストライプに平行方向と垂直方向と で、異なることがわかった。つまり、素子形成領域10 41は、等方的でない歪を有していることがわかった。 【0099】本実施例では、アモルファス状のGaN膜 1035のストライプを基板上に形成した場合について 説明したが、SiOz膜、SiN膜などの酸化膜層、窒 化膜層を用いても同様の効果が得られる。

【0100】図38はこのSiO,膜を用いた場合の例 であり、厚さ 0. 1 μmの S i O<sub>2</sub> 膜 1 O 3 8 でストライ プを形成した基板上に、この実施例と同様の方法で、G aN膜1033、1034の選択成長を行った。この場 合も同様に格子不整合による歪みがストライプに平行な 方向に偏ったエピタキシャル層が得られた。さらにGa N膜は、SiO,膜の上には成長しないので(選択成 長)、この方法によるGaN膜は島状(アイランド状) に形成されることになる。この島状のGaN膜1034 の歪の状態も、ストライプに平行な方向では歪が残り、 ストライプに垂直な方向では歪が緩和されるので GaN 【0095】つぎに本発明者等が上記実施例方法により 30 膜歪は小さくなり、等方的でない歪の状態が実現でき

> 【0101】また、本実施例は、面方位(0001)の  $\alpha - A I_1 O_1$  (サファイア) 基板上へのGaNエピタキ シャル成長について述べたが、本発明はこの実施例方法 に限定されるものではなく、その他あらゆる格子不整合 系のエピタキシャル成長において実施でき、同様の効果 を得られるものである。

> 【0102】この実施例では、GaN膜1035のスト ライプは複数形成しているが、少なくとも1つあれば、 素子形成領域のGaN膜の歪は等方的でないものが実現 できる。とくにストライプの近くはかならず等方的でな い歪が存在するからである。

> 【0103】また、基板上にGaN膜を成長するには2 段成長方法を用いているが、GaN膜1033を成長せ ずに、GaN膜1034を基板上に直接成長してもよ

【0104】以上より、本発明による方法が格子不整合 系のエピタキシャル成長において、格子不整合により発 生する格子歪みを特定の方位に集中させることを特徴と 示している。厚さ3μmまでにかなりの転位がストライ 50 するエピタキシャルを得るのに十分有効であることが、

25

実証された。

【0105】(実施例14)本発明の一実施例である半 導体発光装置を図面とともに説明する。この実施例の特 徴は、形状記憶合金を用いて、半導体発光素子の側面に 物理的に応力を印加し、活性層に歪を導入するところで ある。

【0106】図32に示すように、凹部1403を有 し、Си-Ni-AI系合金からなる形状記憶合金14 0 4 を用意する。この凹部 1 4 0 3 の幅は、 4 8 0 μm であり、半導体発光素子の幅よりも僅かに小さくなって 10 いる。この凹部1403の表面は、半導体発光素子が設 置されるために、薄く絶縁化処理がなされ、発光素子が 短絡しないようになっている。

【0107】まず、この凹部1403を機械的に広げ る。そして、後述する半導体発光素子1402をこの凹 部に設置して加熱室に入れる。この加熱室で、80℃ま で温度を上昇させると、形状記憶合金も加熱され、もと の形状に戻ることになる。もとの凹部にもどることで、 半導体発光素子1402には、ストライプ方向と垂直な ×方向に応力が印加され、その結果、活性層のc面内 で、一軸方向(ストライプ方向に垂直方向、つまり×方 向) に歪を導入することができ、この発光素子のしきい 値電流を小さくすることができる。

【0108】形状記憶合金の凹部1403の開口の大き さは、あらかじめ一定の大きさに決まっているので、発 光素子にかかる応力もその開口部の大きさによって決定 される。また発光素子を実装するために凹部を広げて も、加熱するだけでもとの状態にもどるので、実装も容 易である。この半導体発光素子を実装したものを半導体 発光装置1401としている。

【0109】次に、この半導体発光素子について説明す る。この発光素子は有機金属気相成長法を用いた以下の 方法により製造される。

【0110】まず、よく洗浄した(0001)サファイ ア基板(c面)を反応容器内のサセプタにセットし、反 応容器内を水素雰囲気にしたのち、基板の温度を108 0℃にまで上昇させ、基板のクリーニングをおこなう。 【0111】続いて、温度を505℃まで下げ、原料ガ スとして、アンモニア4リットル/分、トリメチルガリ ウムを30×10-6モル/分、キャリアガスとして水素 40 を2リットル/分、流しながら基板上にGaNパッファ - 層を成長させる。

【0112】その後、トリメチルガリウムを止めて、温 度を1080℃まで上昇させ、トリメチルガリウム50 ×10<sup>-1</sup>モル/分、シランガスを2×10<sup>-1</sup>モル/分を 流し、シリコンドープn型GaN層を成長させる。

【0113】n型GaN層の成長後、原料ガスを止め、 基板温度を800℃にして、キャリアガスを水素から窒 素に替え、窒素を2リットル/分、原料ガスとしては、 トリメチルガリウムを2×10<sup>-1</sup>モル/分、トリメチル 50 ためのしきい値電流を飛躍的に下げることができる。

インジウムを1×10<sup>-6</sup>モル/分、ジエチルカドミウム を2×10-6モル/分、アンモニアを4リットル/分を 流しなまがら、カドミウムドープ Inux Gauss N層 を成長させる。

【0 1 1 4】カドミウムドープ I no. 14 G a o. 1611層を 成長後、原料ガスを止め、温度を1080℃まで上昇さ せ、トリメチルガリウムを50×10°、シクロペンタ ジェニルマグネシウムを3.6×10<sup>-1</sup> モル/分、アン モニアを4リットル/分を流し、p型GaN層を成長さ せる。

【0115】以上のようにして得られた半導体発光素子 のp型GaN層、およびn型lnGaN層の一部をエッ チングにより取り除き、n型GaN層を露出させ、p型 GaN層、およびn型GaN層にp型、n型オーミック 電極を設けた。本実施例は、この半導体発光素子を用い て実装している。次の実施例もこの半導体発光素子を用 いて実装したものである。

【0116】(実施例15)この実施例は、半導体発光 素子に機械的に応力をかけた半導体発光装置である。実 20 施例14で示した半導体発光素子に対して側面から応力 をかける方法である。

【0117】図33に示すように、この半導体発光素子 は(0001)面(c面)上に六方晶化合物半導体であ るAIGalnN系結晶を成長させているので、c面内 に一軸方向((a)のy方向)の歪を導入すべく半導体 発光素子の側面から応力を印加している。

【0118】応力印加容器1503内に半導体発光素子 1502をセットし、その側面から応力を徐々に印加し ていく。応力の大きさは、ハンドル1504を回すこと 30 により調節可能になっている。

【0119】図33 (a) では、半導体発光素子150 2の基板に(0001)面のサファイア基板を用いた が、例えばR面を基板に用いて、この基板上にAIGa InN系の結晶を成長させた半導体発光素子を用いれ ば、図33(b)のように、基板に対して垂直方向(y 方向) から応力を印加することができる。これは、 c 軸 方向に歪を導入しても、価電子帯の状態密度を小さくす ることはできないが、 c 面内で等方的でない歪を導入す れば価電子帯の状態密度を飛躍的に小さくできることに よる。基板にR面を用いれば、c軸は図33(b)に示 した方向を向いているので、基板に垂直(y方向)に応 カを印加しても c 面内に等方的でない歪を導入できるの である。もちろん先ほど(a)で説明したように、R面 上に成長した半導体発光素子の側面から応力をかけるこ とでも、 c 面内で等方的でない歪を導入することができ

【0120】この実施例の方法によれば、半導体発光素 子の c 面内に等方的でない歪を機械的に導入できるの で、価電子帯の状態密度を小さくでき、レーザ発振する

28

#### [0121]

【発明の効果】以上説明したように本発明は、六方晶化合物半導体のc面内に等方的でない(異方的な)歪を加えた場合、価電子帯上端付近のホールの有効質量が小さくなるということにもとづき、c軸方向に成長させた六方晶化合物半導体から構成されている活性層のc面内に等方的でない(異方的な)歪を入れることにより、しきい値電流が低い半導体発光素子を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

- 【図1】AIGaN/GaN量子井戸におけるGaN層 の価電子帯の電子帯構造を示す図
- 【図2】 c 面内に等方的でない歪が加わった場合のA I G a N/G a N量子井戸におけるG a N層の価電子帯の電子帯構造を示す図
- 【図3】c面内に等方的でない(異方的な)歪が加わった場合のしきい値電流密度の歪依存性を示す図
- 【図4】本発明の一実施例の半導体発光素子の構造図
- 【図5】本発明の一実施例の半導体発光素子の製造工程 断面図
- 【図6】本発明の一実施例の半導体発光素子の構造図
- 【図7】本発明の一実施例の半導体発光素子の形状を示す図
- 【図8】本発明の一実施例の半導体発光素子の構造図
- 【図9】本発明の一実施例の半導体発光素子の製造方法 を示す一工程図
- 【図10】第2の実施例を示すウルツ鉱型InGaN/AIGaN量子井戸半導体レーザの素子断面図
- 【図11】LiTa〇₃基板上の直行する2つの結晶方位を示す図
- 【図12】LiTaO,基板が(1100)面から(001)方向、あるいは(1120)方向へ傾斜した状態を示す図
- 【図13】第3の実施例を示すウルツ鉱型InGaN/AIGaN量子井戸半導体レーザの素子断面図
- 【図14】p-Al、Ga、、N歪導入層の周囲に局部 的に導入される歪を示す図
- 【図15】LiTaOュとGaNとの熱膨張係数の比較 図
- 【図16】本発明の実施例の半導体レーザの作製方法を 40 示す構成斜視図
- 【図17】本発明の一実施例のサブマウントの構造図
- 【図18】本発明の別の実施例の半導体レーザの作製方法を示す構成図
- 【図19】本発明の半導体レーザを実装するサブマウントの断面図
- 【図20】本発明の半導体レーザを実装する別のサブマウントの図
- 【図21】本発明の別の実施例の半導体レーザの作製方法を示す構成断面図

- 【図22】本発明の一実施例の半導体レーザの作製方法 を示す構成断面図
- 【図23】本発明の一実施例の製造方法によるAIGa InN系半導体発光素子の製造工程図
- 【図24】本発明の一実施例の製造方法によるAIGa InN系半導体発光素子の製造工程図
- 【図25】選択的にレーザ照射を行う気相成長の工程図、および選択的にレーザ照射を行う気相成長法によって作製したGaN結晶の格子定数の関係を示す図
- 10 【図26】レーザ照射強度とGaN格子定数の関係を示す図
  - 【図27】選択的にレーザ照射を行う気相成長の工程図
  - 【図28】本発明の実施例11における半導体装置の製造工程の模式断面図
  - 【図29】本発明の実施例11における半導体装置の模式断面図および活性層の結晶構造の模式図
  - 【図30】本発明の実施例12における半導体装置の製造工程の模式図
- 【図31】本発明の実施例12におけるGaN螺旋状薄20 膜の単位胞の模式図
  - 【図32】本発明の実施例14における半導体発光装置 の構成斜視図
    - 【図33】本発明の実施例15における半導体発光装置 の構成断面図
  - 【図34】本発明の実施例13における成長装置の構造 断面図
  - 【図35】本発明の実施例13における結晶成長の工程 断面図
- 【図36】本発明の実施例13との比較における2段成30 長後の構造断面図
  - 【図37】本発明の実施例13における結晶成長後の構造斜視図
  - 【図38】本発明の実施例13のSiO<sub>2</sub>膜を用いた場合の構造断面図

#### 【符号の説明】

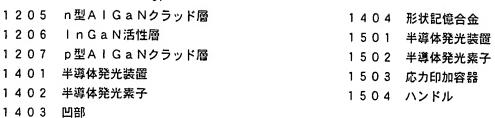
- 100 AIGaInN発光層
- 101 サファイア基板
- 102 ストライプ状の溝
- 103 サファイア基板
- 104 マスク
  - 105 溝
  - 106 AIN埋込み層
  - 107 AlGalnN発光層
  - 108 サファイア基板
  - 109 酸化膜
- 110 サファイア基板
- 111 酸化膜
- 112 SiC基板
- 113 Ni層
- 50 114 第一のAu層

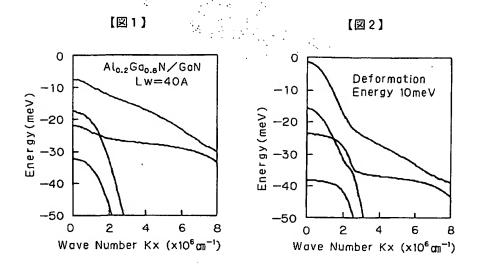
(16)

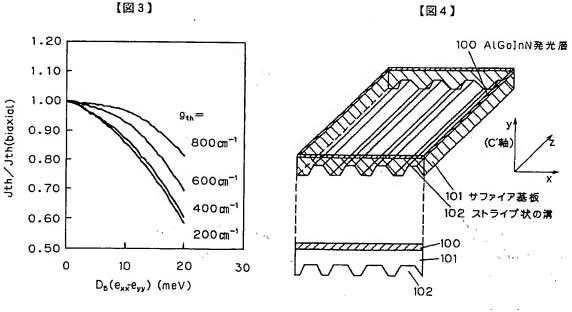
	1	( 10 )		特用平 6 一 2 5
	29			30
115	第二のAu層		603	AIN層
	AIGaInN発光素子層		604	n型AIGalnNクラッド層
117	サファイア基板		605	AIGaInN活性層
	とめ治具		606	p型AIGaInNクラッド層
118			607	p側電極
119	トレイ		608	n側電極
2 0 1	LiTaO,基板		651	6 H - S i C基板
202	AINバッファ層			
203	n-Al,Ga <sub>1-</sub> ,Nクラッド層			AIN層
2 0 4	AI,Ga,-,N 第1光ガイド層		653	A I N層
2 0 5	In,Ga,-,N/GaN多重量子井戸活性層	10		n型AIGaInNクラッド層
206	A I,Ga <sub>1-</sub> ,N 第2光ガイド層			AIGaInN活性層
207	p – A I, G a , Nクラッド層			p型AIGaInNクラッド層
208	リッジストライプ			p側電極
209	S i O₂絶縁膜		658	n側電極
210	SiOz絶縁膜の開口部		801	サファイア基板
2 1 1	SiO <sub>2</sub> 絶縁膜の開口部		802	GaN結晶層
2 1 2	アノード電極		803	GaN結晶層
213	カソード電極		804	GaN結晶層
	(0001) サファイア基板		805	GaN結晶層
302	AINバッファ層	20	1011	反応管
303	n - A I, G a <sub>1-</sub> , Nクラッド層		1012	2 ガス導入管
304	A I, G a, -, N 第1光ガイド層		1013	3 サセプタ
305	In, Ga <sub>1-</sub> , N/GaN多重量子井戸活性層		1014	4 試料基板
306	A I, G a <sub>1-</sub> , N 第2光ガイド層		1015	5 高周波コイル
	p-Al, Ga <sub>1-</sub> , N第1クラッド層		1016	6 熱伝対
308	p — A I <sub>1</sub> · G a <sub>1-1</sub> · N歪導入層		1017	7 ガス導入口
309	p-A1, Ga <sub>1-</sub> , N第2クラッド層		1018	3 真空ポンプ
310	SiO <sub>2</sub> 絶縁膜		103	l サファイア基板
3 1 1	開口部		1032	2 転位
312	開口部	30	1033	3 GaNエピタキシャル層
3 1 3	アノード電極		1034	4 GaNエピタキシャル層
3 1 4			103	5 アモルファス状のGaN膜
401			1036	6 アモルファス状のGaN膜
402			103	
403	LiTaO;		1038	B SiO2膜
404	ハンダ材		103	
501	半導体レーザ		104	
501	サブマウント		104	
			110	
503		40		・ ファイン Im 2 AIGaNクラッド層
504	Fe-Ni-Mn合金	40	110	
5 0 5	Pb-Snハンダ材		110	
5 5 1	半導体レーザ			
5 5 2	サブマウント		110	
5 5 3	加重用コレット		110	
5 5 4	紫外線硬化樹脂		110	
5 5 5	サブマウント		110	
5 5 6	加重用板板バネ		1 2 0	
5 5 7	加重用ネジ		1 2 0	
601	6 H-Si C基板		1 2 0	3 GaN螺旋状薄膜層

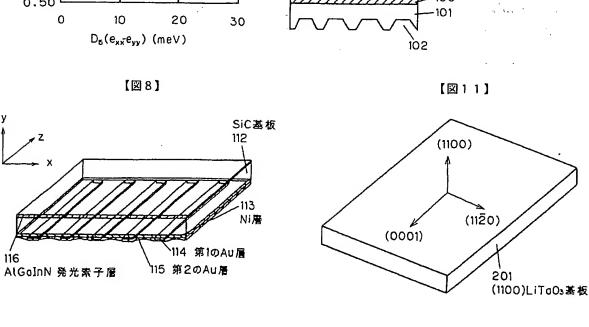
602 AIN層

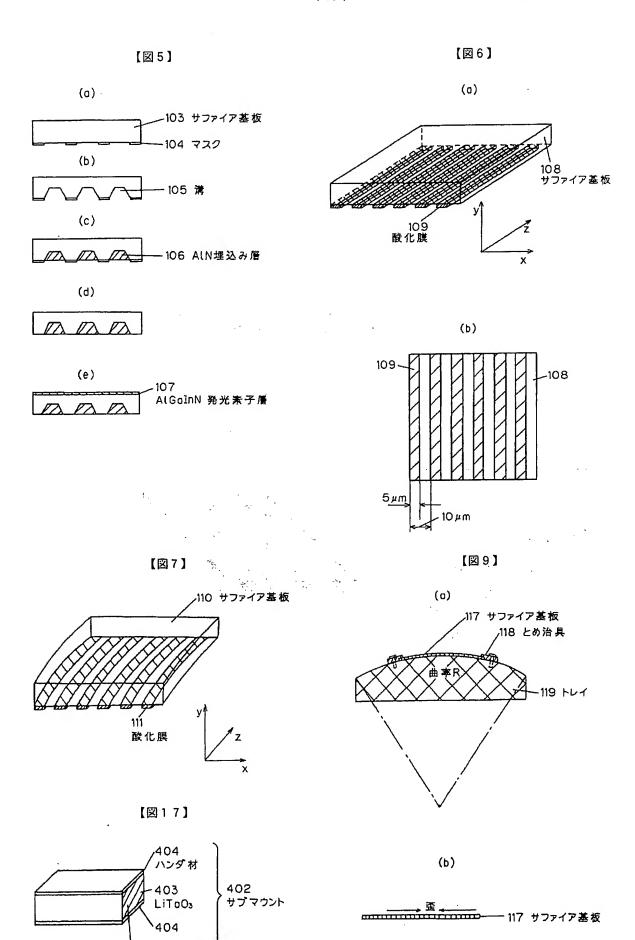
50 1204 GaN螺旋状薄膜層の単位胞





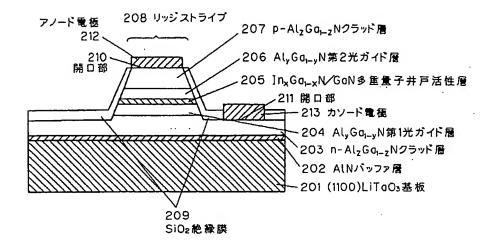






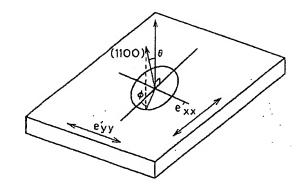
(0001)面

【図10】



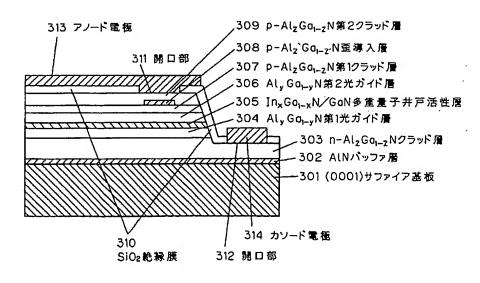
【図12】

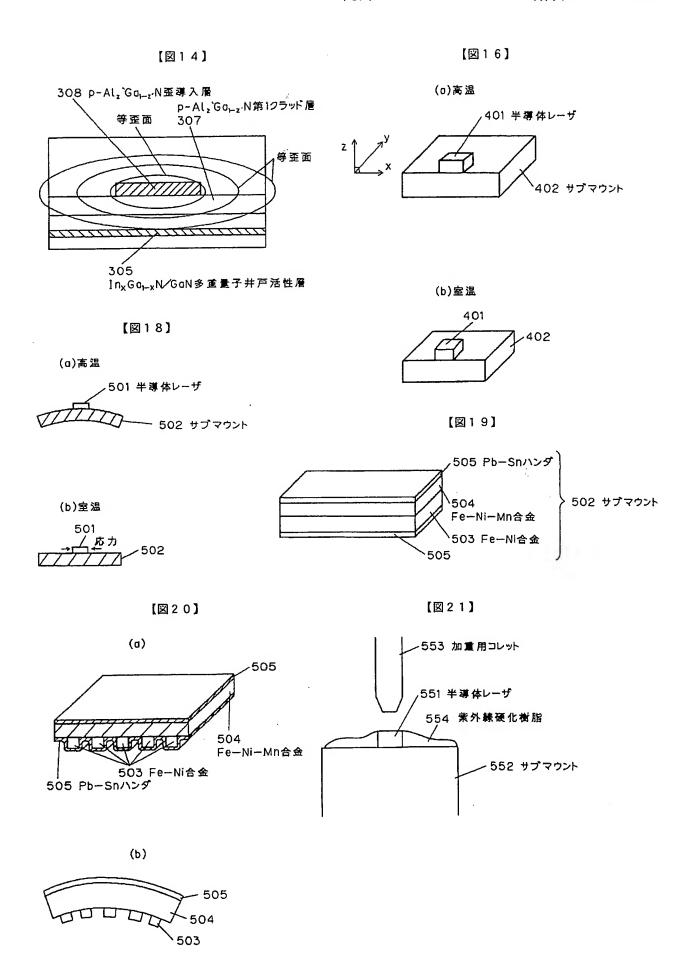
【図15】

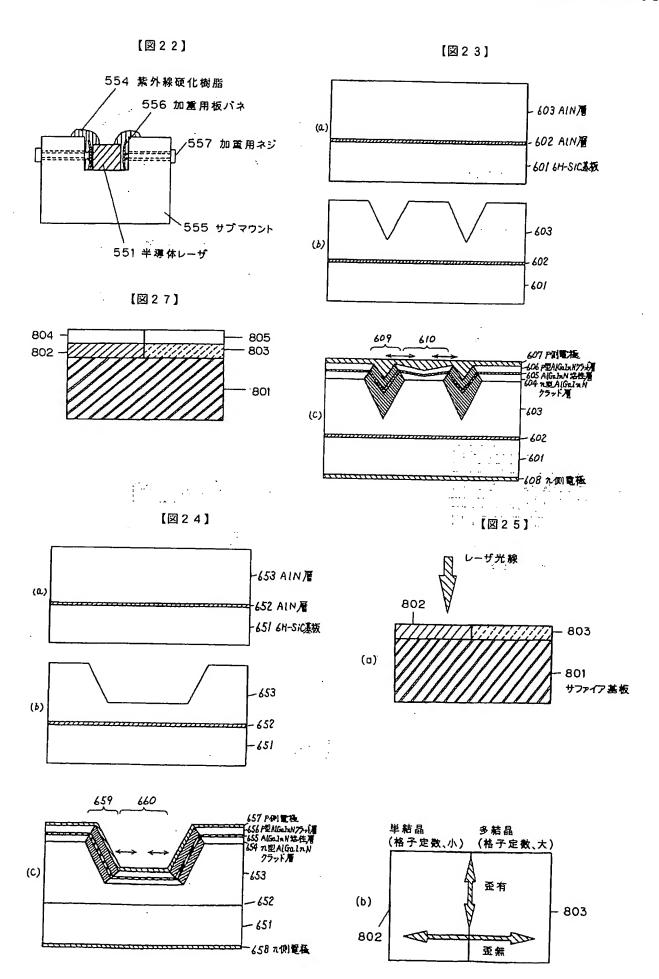


材料	熱膨張係数			
LiTaO₃	1.2×10 <sup>-6</sup> (0001) 2.2×10 <sup>-5</sup> (112̄0)			
GaN	5.6×10 <sup>-6</sup>			

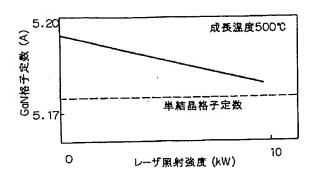
【図13】



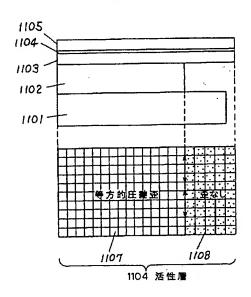




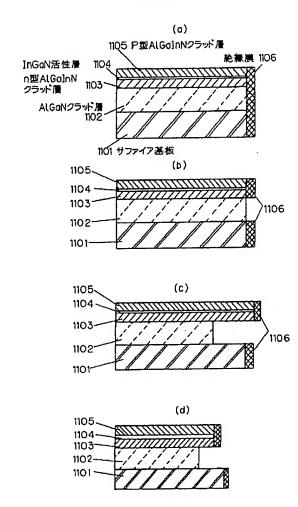
【図26】



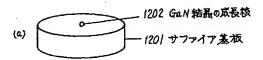
[図29]

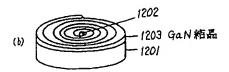


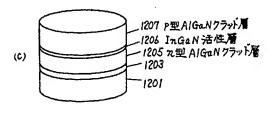
【図28】

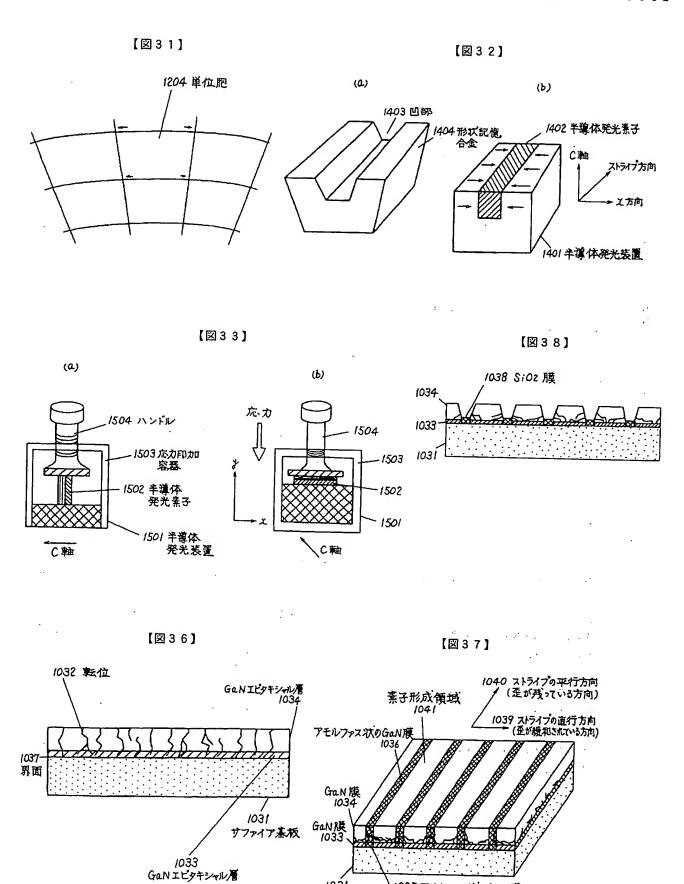


[図30]



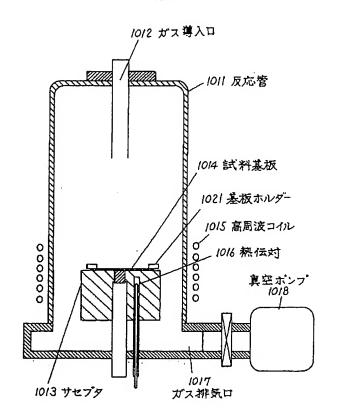




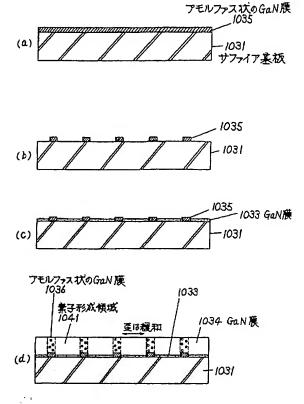


1031 サファイア**基**板 1035 アモレファス状のGaN膜

【図34】



【図35】



### フロントページの続き

(72) 発明者 大仲 清司 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内

(72) 発明者 高森 晃 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内

(72) 発明者 萬濃 正也 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内

(72) 発明者 木戸口 勲 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内 (72) 発明者 足立 秀人

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内

(72) 発明者 石橋 明彦 大阪在門 南市大学

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内

(72) 発明者 福久 敏哉

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内

(72) 発明者 熊渕 康仁

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器 産業株式会社内